



Actualización del diagrama unifilar de la planta de CRYSTAL Marinilla, apoyo en proyectos de mantenimiento y análisis de posibles mejoras para la gestión de la energía.

Jhony Andrés Montes Quintero

Informe de práctica para optar al título de ingeniero electricista

Asesor

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, ingeniero electricista

Asesor interno

Carlos Andrés Álvarez Bustamante, ingeniero electricista

Asesor externo

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	Montes Quintero [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] J. A. Montes Quintero, “Actualización del diagrama unifilar de la planta de CRYSTAL Marinilla, apoyo en proyectos de mantenimiento y análisis de posibles mejoras para la gestión de la energía.”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.



Centro de documentación ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda

Decano: Julio César Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa Quintero

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo de grado está dedicado a mi familia, por el gran apoyo que recibí de ellos en todos los sentidos, no solo durante mi proceso académico, sino, durante toda mi vida.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Universidad de Antioquia por su bonita labor, a todos los profesores del Departamento de Ingeniería Eléctrica y a la empresa CRYSTAL por permitirme realizar mis prácticas en sus instalaciones, donde pude aprender y reforzar tantos conceptos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
I. INTRODUCCIÓN	9
II. OBJETIVOS	10
A. Objetivo general	10
B. Objetivos específicos	10
III. MARCO TEÓRICO	11
IV. METODOLOGÍA	13
V. RESULTADOS	15
VI. ANÁLISIS	39
VII. CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS	41

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Circuito de alimentación a 13,2 kV	15
Fig. 2. Circuito de alimentación a 44 kV	16
Fig. 3. Plantas de emergencia.....	17
Fig. 4. Planta de emergencia ubicada en una sección diferente	18
Fig. 5. Cuarto de inversores	19
Fig. 6. Transformador principal 44 kV/440 V	20
Fig. 7. Compresor de 500 HP	21
Fig. 8. Tablero de distribución con mala marcación	22
Fig. 9. Ubicación física de tableros y transformadores	23
Fig. 10. Diagrama unifilar de CRYSTAL SAS.....	23
Fig. 11. Bodega de materia prima	24
Fig. 12. Cálculo de la iluminación usando DIALUX.....	25
Fig. 13. Fusible con puntos calientes	26
Fig. 14. Nuevos DPS en los transformadores principales	28
Fig. 15. Equipos desinstalados	29
Fig. 16. TC de 52 kV instalado en pórtico	30
Fig. 17. TP de 52 kV instalado en pórtico.....	30
Fig. 18. Pórtico antes de su modificación	31
Fig. 19. Pórtico después de su modificación.....	32
Fig. 20. Señalización por arco eléctrico	33
Fig. 21. Señalización por arco eléctrico	34
Fig. 22. Analizadores de redes en subestaciones y gabinetes	35
Fig. 23. Analizador de redes portátil	36
Fig. 24. Plantilla para asociar costos y consumos de la sección tintorería de hilos de CRYSTAL	37
Fig. 25. Aspectos por mejorar en el sistema eléctrico.....	38

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AutoCAD	Diseño asistido por computadora
DPS	Dispositivo de protección contra sobretensiones
kV	Kilovoltio
kW	Kilovatio
kVA	Kilovoltiamperio
EPM	Empresas Públicas de Medellín
RETIE	Reglamento técnico de instalaciones eléctricas
RETILAP	Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público
NTC	Código eléctrico colombiano
UPS	Sistema de alimentación ininterrumpida
NFPA	Asociación nacional de protección contra el fuego
ISO	Organización Internacional de Normalización
TP	Transformador de tensión
TC	Transformador de corriente
HP	Caballos de fuerza

RESUMEN

Sin duda, la ingeniería eléctrica se destaca como un campo fundamental con el potencial de contribuir significativamente a los esfuerzos de recuperación y conservación del medio ambiente. Este trabajo profundiza en el quehacer de la empresa CRYSTAL, la cual se dedica a avanzar en esta causa a través de diversos proyectos de ingeniería eléctrica. En particular, la empresa se ha embarcado en la implementación de un sistema solar fotovoltaico de 600 kW y continúa explorando opciones para mejorar la eficiencia energética.

El objetivo de este informe es mostrar las contribuciones notables realizadas durante un período de seis meses dentro del ciclo de práctica empresarial. El énfasis está en actividades centradas en la eficiencia energética y el mantenimiento del sistema eléctrico, importante para la empresa durante este período. Acompañar y participar activamente en las actividades de mantenimiento y montaje, junto con la realización de análisis exhaustivos de las mediciones del consumo de energía, permitió extraer conclusiones reveladoras sobre la gestión eléctrica eficaz.

***Palabras clave* — Energía, Eficiencia energética, Mantenimiento, Consumo.**

ABSTRACT

Undoubtedly, electrical engineering stands out as a pivotal field with the potential to significantly contribute to environmental recovery and conservation efforts. This work delves into the endeavors of the company CRYSTAL, which is dedicated to advancing this cause through various electrical engineering projects. Notably, the company has embarked on the implementation of a 600 kW photovoltaic solar system and continues to explore options to enhance energy efficiency.

The focus of this report is to showcase the noteworthy contributions made during a six-month period within the business practice cycle. The emphasis is on activities centered around energy efficiency and the maintenance of the electrical system, which was important for the company during this timeframe. Accompanying and actively participating in maintenance and assembly activities, along with conducting thorough analyses of energy consumption measurements, enabled to draw insightful conclusions regarding effective electricity management.

***Keywords* — Energy, Energy efficiency, Maintenance, Consumption.**

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema eléctrico, independiente de cuál sea su aplicación, debe estar en perfectas condiciones de seguridad y operación. Para este caso en específico se tratará el sistema eléctrico de la planta de CRYSTAL Marinilla, el cual debe permitir que la empresa desarrolle con éxito la cantidad de procesos vitales que hacen parte de su operación, por ende, se debe contar con un estricto mantenimiento y supervisión debido al gran número de personas y en general seres vivos que de una u otra forma interactúan con la red eléctrica de la empresa.

En este informe de prácticas se documentó la forma en la que se actualizó el diagrama unifilar de la empresa, el cual lleva ciertos varios años siendo modificado al retirar o añadir cargas, o incluso agregando nuevos tableros sin que esto quede registrado. Se presenta la metodología usada para el levantamiento y diseño de este diagrama mediante el software AutoCAD [1], también se identificaron los aspectos que deben mejorarse para asegurar el funcionamiento seguro del sistema eléctrico.

La operación de la planta requiere la puesta en marcha de una gran cantidad de máquinas de diferentes tipos, que claramente aportan el mayor porcentaje de consumo energético a la empresa. Debido a esto, se realizó la caracterización de la planta respecto al consumo eléctrico que aportan todas sus máquinas, de esta manera se puede obtener un diagnóstico real del consumo asociado a cada sección de la planta y se puede obtener un diagnóstico del estado de cada máquina.

Es de vital importancia recalcar el impacto económico y ambiental que conlleva la operación de la planta, debido a esto se analizaron oportunidades de mejora en cuanto a la gestión energética de los procesos y consumos en la empresa con base en la norma ISO 50001[2]. Una de las mejoras a proponer fue la operación responsable por parte de los operarios, es uno de los puntos en los que se puede presentar una mayor reducción en el consumo eléctrico. Sin embargo, cabe aclarar que CRYSTAL ha realizado importantes inversiones guiadas a optimizar el consumo y las emisiones que se generan por el uso de las máquinas y los procesos aplicados.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Apoyar proyectos de ingeniería eléctrica en mantenimiento y gestión energética y actualizar el diagrama unifilar de la planta de CRYSTAL Marinilla.

B. Objetivos específicos

- Actualizar el diagrama unifilar de la empresa, desde la identificación de riesgos eléctricos y cambios en cada gabinete o tablero, hasta la creación de los nuevos cuadros de carga y el diagrama en AutoCAD.
- Identificar las secciones de la planta en las que un cambio de luminarias podría significar un ahorro energético que representa beneficios económicos para la empresa.
- Apoyar las actividades de mantenimiento o mejoras que se realicen en la planta como el análisis termográfico o la instalación de nuevos DPS, para identificar el estado del sistema eléctrico con el que cuenta la empresa.

III. MARCO TEÓRICO

La ingeniería eléctrica es una de las áreas con más relación en el desarrollo industrial y es indispensable para que los procesos aplicados generen los frutos esperados, que el sistema eléctrico de una empresa tenga como principio la protección de la vida y el medio ambiente, así como asegurar un suministro seguro y confiable [3],[4] del servicio de energía eléctrica, tal y como lo mencionan la RETIE [5] y la NTC2050 [6].

En este trabajo, se presentará el sistema eléctrico de la planta de CRYSTAL ubicada en el municipio de Marinilla, Antioquia. El ciclo de prácticas permitió realizar acompañamientos en tareas de mantenimiento, la actualización del diagrama unifilar, la identificación de oportunidades de mejora, entre otras que serán documentadas a continuación. El cumplimiento de las normas técnicas no debe ser interés de la empresa solo al momento de realizar la instalación, sino al pasar de los años cuando se presentan modificaciones, ampliaciones o deterioro en equipos por el uso que se les da.

Con el cumplimiento de las normas viene una parte muy importante de los sistemas eléctricos, y es un buen diagrama unifilar que contenga cuadros de cargas actuales y correctos, que proporcionen a la persona que los manipule información correcta sobre cargas y nivel de tensión que permita agilidad en operaciones de corte y suministro de energía eléctrica. Es razonable que con el paso de los años los cuadros de carga de una empresa se modifiquen por la llegada de nuevas máquinas, por el montaje de nuevas oficinas o por muchos otros factores que pueden influir, cuando esto ocurre, es de gran importancia realizar los cambios pertinentes.

A la hora de gestionar la energía de una forma económica y sostenible, las empresas se enfrentan con cierto tipo de alternativas y soluciones. Por ejemplo, en el sector textil se usa un sin número de máquinas que demandan un gran suministro de energía eléctrica, además de otro tipo de energías como el calor que se adquiere en muchos casos del carbón, o el aire comprimido que también demanda una cantidad de energía eléctrica importante. El uso de estas máquinas emite una cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera, motivo por el cual a una empresa puede interesarle mucho la aplicación de normas como la ISO 50001 [2], donde se presentan metodologías para aplicar sistemas de gestión de la energía.

Las redes eléctricas de una empresa se ven sometidas a ciertos cambios que pueden resultar muy perjudiciales si no se tratan a tiempo, es por esto, por lo que el mantenimiento preventivo es

un procedimiento tan necesario e importante, específicamente en una empresa textil en donde se tienen niveles de tensión hasta de 44 kV. El acompañamiento en las actividades de mantenimiento a cada barraje, tablero, pósito, transformador, entre otros para detectar fallas eléctricas y muchas veces mecánicas que deterioren o pongan en peligro el buen funcionamiento del sistema eléctrico y se puedan mejorar a tiempo, fue parte importante del proceso de práctica, entendiendo la importancia que tiene para un sistema eléctrico tan robusto como lo es el de CRYSTAL.

IV. METODOLOGÍA

Se aplicó una metodología diferente en cada proyecto apoyado en la etapa de la práctica.

Para la actualización del diagrama unifilar se realizó primero la identificación física de cada tablero y gabinete instalado en la planta. Teniendo en cuenta que son más de 120 tableros y gabinetes y el gran tamaño de la planta, este proceso tardó unas cuantas semanas. La ubicación física de cada tablero, gabinete, transformador y subestación se marcó en el plano arquitectónico de la empresa, plano que está desarrollado en AutoCAD [1] y fue proporcionado por el área de diseño.

A medida que se ubicaron los tableros, mediante fotos y anotaciones, quedó evidencia de cómo estaban marcados los tableros, gabinetes y subestaciones, y de cómo estaba el cuadro de cargas; posteriormente se hizo la comparación del material existente con el estado actual del tablero y así se pudo actualizar el cuadro de cargas. Debido a la operación de la planta y a los cambios que presentan los tableros en cuanto a cargas, se programaron dos recorridos en dos domingos cuando la producción de la empresa lo permitió, esto con el fin de poder desenergizar cualquier circuito y poder identificar origen y destino. Después de actualizar los cuadros de carga completos junto con la marcación de los tableros indicando origen, nomenclatura y nivel de tensión, se procedió a modificar el diagrama unifilar mediante el software AutoCAD [1].

En cuanto al apoyo en mantenimiento, se hizo un acompañamiento a la amplia cuadrilla técnica que posee la empresa. Lo primero fue una termografía realizada por un tercero (empresa contratada) a todos los barrajes y transformadores en todos los niveles de tensión. Este acompañamiento también se realizó en distintas actividades como el montaje de DPS a los transformadores principales y la instalación de nuevos equipos de medida requeridos en el pórtico para la entrada de un sistema de generación fotovoltaica de 600 kW de capacidad.

La gestión energética es un tema de gran interés para CRYSTAL, en cuanto a máquinas y procesos que generen emisiones y altos consumos se tiene un buen avance, de esta manera, se realizó un estudio de iluminación en varias secciones de la planta en donde se instalen luminarias de una alta eficiencia y de un mantenimiento nulo, esto buscando anular los gastos y trámites necesarios para el mantenimiento debido a la gran altura de las bodegas, y un ahorro económico y ambiental en cuanto a la reducción del consumo de energía. Lo primero fue levantar los planos con las nuevas luminarias y analizar si realmente ofrecen una buena opción en comparación a las

luminarias actuales y así, hacer un análisis económico que permitiera tomar una buena decisión sobre la inversión a realizar.

Tener una señalización completa en las subestaciones y cuartos eléctricos es de suma importancia para cumplir con la normativa y para conservar la vida de las personas involucradas en la operación de estos lugares, es por esto que se tomó un estudio de arco eléctrico realizado a la empresa por un tercero y se identificó cuáles aspectos deben mejorarse en cuanto a la seguridad eléctrica en la empresa; después de tener esto claro, se creó una señalización para cada transformador, gabinete y seccionador que permitiera alertar sobre los riesgos allí presentes.

V. RESULTADOS

En esta sección se van a presentar los aprendizajes y resultados obtenidos al intervenir en los proyectos mencionados en los objetivos, general y específicos. Cada objetivo específico se va a desglosar para que quede claro el resultado final y cómo se obtuvo.

- Diagrama unifilar:

El diagrama unifilar es el esquema que muestra la ruta de distribución de la energía eléctrica desde la fuente de alimentación hasta la carga final de cada uno de los circuitos que componen el sistema eléctrico, que en CRYSTAL está conformado por 9 subestaciones y 18 transformadores. La alimentación principal de CRYSTAL proviene de dos circuitos que hacen parte del sistema de distribución de Empresas Públicas de Medellín EPM. El primero es el circuito F24253 con un nivel de tensión de 13,2 kV mostrado en la imagen 1, el cual lleva un tiempo considerable sin ser usado.

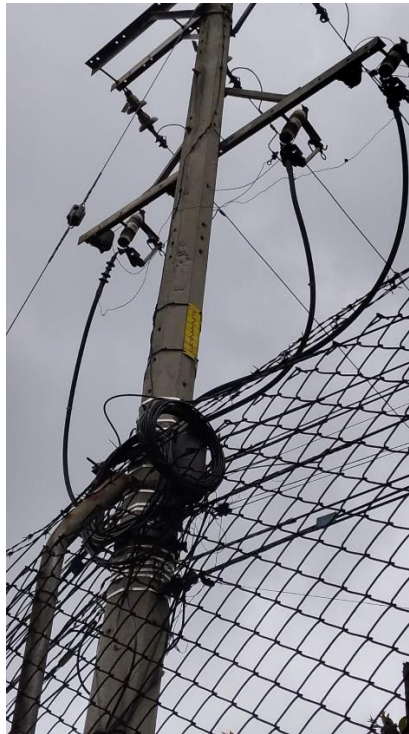


Fig. 1. Circuito de alimentación a 13,2 kV

El segundo circuito es el R22-40, que cuenta con un nivel de tensión de 44 kV y es el circuito que energiza toda la planta actualmente, claro está, en condiciones operativas normales; se muestra en la figura 2. La empresa cuenta con nueve plantas de generación a 220V y 440V y diferentes niveles

de potencia, que son usadas en casos de emergencia, estas se muestran en la figura 3 y 4; estas plantas de emergencia están distribuidas geográficamente de forma conveniente para abastecer los consumos de las subestaciones que soportan los procesos más importantes para la operación de la empresa.



Fig. 2. Circuito de alimentación a 44 kV



Fig. 3. Plantas de emergencia



Fig. 4. Planta de emergencia ubicada en una sección diferente

Por último, como fuente de alimentación, la empresa concluyó recientemente con la instalación de un sistema solar fotovoltaico de 600 kW de capacidad. Este sistema no cuenta con almacenamiento, así que toda la energía generada durante las horas del día es consumida de forma instantánea en una de las secciones de la planta en donde se presentan los mayores consumos; para lograr esta inyección de energía, en el barraje del secundario del transformador de dicha sección se conectó el conductor que transporta esta energía. La energía sobrante será suministrada a la red de empresas públicas para generar una disminución de costos en la factura de energía eléctrica que paga la empresa mediante la venta de los excedentes, también para contribuir al sostenimiento ambiental, que es un tema del cual no podemos ser ajenos. El sistema está conformado por 6 inversores instalados en una subestación destinada únicamente para estos, cada uno de 100 Kw, mostrados en la figura 5.



Fig. 5. Cuarto de inversores

Las fuentes de energía eléctrica mencionadas representan la alimentación de 6000 kVA instalados actualmente en la planta, distribuidos en 3 transformadores de 2000 kVA cada uno, dos de ellos transforman de 44 kV a 440 V y el tercer transformador posee una relación de transformación de 44 kV a 13,2 kV. Uno de ellos se muestra en la figura 6, para un dimensionamiento de su tamaño.



Fig. 6. Transformador principal 44 kV/440 V

De estos tres transformadores principales se desprenden 15 transformadores que reducen la tensión a 220 V y a 440 V, según sea la necesidad, distribuidos por toda la planta en las 9 subestaciones existentes. Las cargas que alimentan finalmente, por mencionar algunas, pueden ser máquinas, compresores, baterías, UPS, motores o luminarias; una de las cargas de mayor consumo es un compresor de 500 HP con el que se soportan varios procesos vitales de la planta, es compleja su operación, no solo por el nivel de corriente nominal que maneja, sino por el nivel de corriente que debe soportar el transformador en su arranque. En la figura 7 se muestra este compresor, esto para ofrecer un dimensionamiento de algunas de las máquinas que deben alimentarse.



Fig. 7. Compresor de 500 HP

Cada subestación posee un gabinete principal con el nivel de tensión entregado por el transformador, del cual se desprenden los tableros en los que se distribuyen los diferentes circuitos, estos están clasificados según la sección en la que se encuentran y la capacidad de corriente de sus protecciones para la nomenclatura final.

El primer procedimiento que se realizó fue estudiar el plano arquitectónico que existía en ese momento en la planta. Debido a que en esta etapa de la práctica apenas iniciaba el ciclo y el conocimiento que se tenía era limitado, fue de gran utilidad la revisión de este plano ya que se logró un dimensionamiento de la planta, lo que volvió más sencillo el proceso de recorrer la planta e identificar los gabinetes y tableros en su ubicación física.

Entrando en materia, los tableros y gabinetes eléctricos de CRYSTAL se modificaron con el paso del tiempo debido a las nuevas necesidades que han surgido en la empresa, como muestra de esto, se presenta en la figura 8 uno de los tableros intervenidos en el recorrido. Este tablero evidencia los cambios que se han realizado pero que claramente no están bien marcados en el tablero ni en la documentación que se tiene sobre las cargas en la planta; la mayoría de los tableros que se intervinieron no presentaban una marcación clara del cambio que se realizó.



Fig. 8. Tablero de distribución con mala marcación

Los cambios se registraron por completo después de recorrer por varios días la planta para realizar el levantamiento de todos los cuadros de cargas y de la ubicación física de los tableros. Finalmente se realizó, haciendo uso de AutoCAD [1], el diagrama unifilar de cada uno de los tableros que fueron impresos de forma individual y el diagrama unifilar completo de CRYSTAL, como se muestra en la figura 9. Y en la figura 10 se muestra el levantamiento que se hizo, en el plano arquitectónico, de la ubicación física de todos los tableros y transformadores existentes en la

empresa, muy importante para la ubicación de personal que no tenga pleno conocimiento del sistema eléctrico.

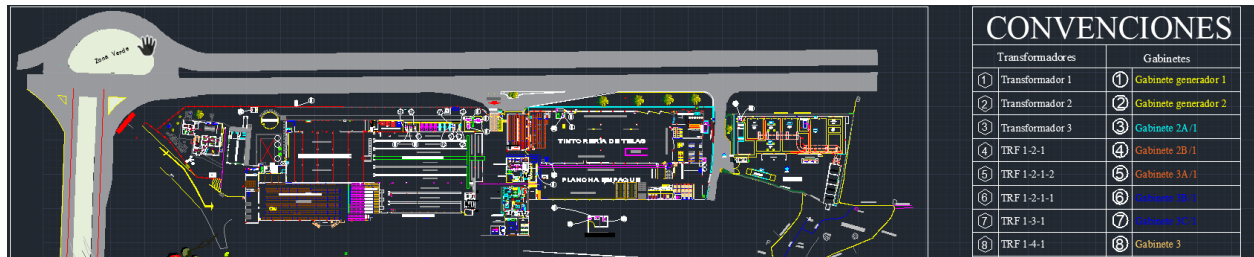


Fig. 9. Ubicación física de tableros y transformadores

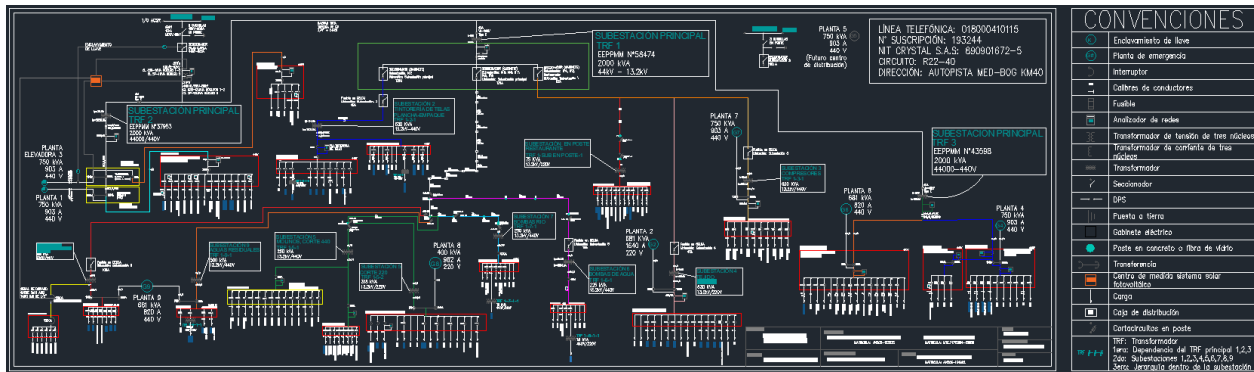


Fig. 10. Diagrama unifilar de CRYSTAL SAS

La realización de este unifilar fue realmente interesante debido a la oportunidad que representó para conocer la planta e identificar, en cada nivel de tensión, y con cada nivel de carga por alimentar, como es la protección, los conductores, los gabinetes y barrajes que se deben usar.

- Identificar las secciones de la planta en las que un cambio de luminarias podría significar un ahorro energético que representa beneficios económicos para la empresa.

Después de analizar la iluminación de todas las secciones de la planta se encontró un buen sistema en este sentido, debido a la instalación de tejas traslúcidas, durante el día se tiene un buen nivel de iluminación con lo que se reducen costos al no tener que encender la totalidad de las luminarias. En la noche no se tienen problemas debido a la buena iluminación que existe, por lo tanto, la única modificación que se vio conveniente fue el cambio de las luminarias en una bodega de la empresa de gran altura, la modificación se quiere realizar, más que por el nivel de iluminación, es por lo complicado que es una actividad de mantenimiento a estas lámparas; en la figura 11 se

presenta la foto de la bodega a intervenir, en donde se muestra las luminarias existentes en el momento a una altura aproximada de 12 metros.



Fig. 11. Bodega de materia prima

El plano de la bodega en AutoCAD [1] se usó para la simulación en el software DIALUX [7] mostrado en la figura 12. Después de realizar el estudio, y de acuerdo con la normativa RETILAP [8] después de cumplir con los lúmenes requeridos, se presentó una opción de luminarias que permite anular el mantenimiento y, además, permite controlar el nivel de iluminación o la potencia que entrega, de esta manera se reducen costos y consumo.



Fig. 12. Cálculo de la iluminación usando DIALUX

- Apoyar las actividades de mantenimiento o mejoras que se realicen en la planta, como el análisis termográfico o la instalación de nuevos DPS para identificar el estado del sistema eléctrico con el que cuenta la empresa.

1. Análisis termográfico

Se realizó el acompañamiento al estudio termográfico realizado en la planta; el estudio fue realizado por un tercero y tomó dos días hacer el recorrido para analizar gabinetes principales, transformadores, seccionadores y motores. Fue interesante acompañar el estudio porque se pudo evidenciar cuán importante es el mantenimiento preventivo a todos los equipos eléctricos, ya que, a excepción de un transformador que indicó calentamiento debido a su edad, los puntos calientes encontrados fueron por malas conexiones o partes mecánicas que debieron cambiarse, como tuercas o uno de los fusibles del transformador principal que presentaba calentamiento en una de sus partes móviles, este se cambió, como se muestra en la figura 13.



Fig. 13. Fusible con puntos calientes

2. Instalación de los DPS, equipos de medida y refuerzo al pórtico.

Debido a la entrada del sistema solar fotovoltaico, fue necesario realizar ciertas adecuaciones en la subestación principal para cumplir con las exigencias del operador de red, tales como la instalación de medida bidireccional que permita conocer los excedentes que se entregan a la red provenientes de la generación solar, la instalación de nuevos DPS en los transformadores y la instalación de los TP y TC adecuados para la entrada del sistema solar, estos equipos tienen una capacidad de 52kV y poseen tres núcleos, dos para medición y uno para protección. Estos últimos equipos, por cierto, de grandes proporciones para estar instalados en una subestación en pórtico, añaden un peso importante que posiblemente no soportaba la estructura con las características que tenía.

Estos trabajos se tuvieron que realizar en días en los que la producción de la empresa pudiera detenerse, debido a esto se realizó el trabajo en dos fines de semana, dividiendo los

trabajos de manera que en un fin de semana se realizara la adecuación del pórtico en cuanto a su estructura, y otro fin de semana en el que se instalaron los equipos mencionados.

En la figura 14 se muestran los DPS instalados en el transformador principal de 44/13,2 kV; la instalación de estos para los otros dos transformadores guarda mucha similitud, en esta intervención también se cambió el conductor por un conductor aislado que permite reducir los riesgos de accidentes en la subestación principal.



Fig. 14. Nuevos DPS en los transformadores principales

En la figura 15 se muestran los TP y TC antiguos después de ser retirados del pórtico.



Fig. 15. Equipos desinstalados

En la figura 16 y 17 se muestran los equipos de medida que fueron instalados.



Fig. 16. TC de 52 kV instalado en pórtico



Fig. 17. TP de 52 kV instalado en pórtico

En la figura 18 y 19 se muestra el pórtico antes y después de la instalación de estos equipos, en el montaje realizado intervinieron varias empresas, dando cuenta de la gran logística que tuvo este trabajo.



Fig. 18. Pórtico antes de su modificación



Fig. 19. Pórtico después de su modificación

De los proyectos en los que se tuvo la oportunidad de participar, este fue quizá el más interesante, debido al reto que suponía hacer estas modificaciones en tan poco tiempo y con tan poco margen de error, además en el proceso se presentaron ciertos problemas relacionados con la distancia de separación entre los TC que poseen un tanque vivo, esto debido al desconocimiento que se tenía de los equipos que fueron importados, a pesar de lo sucedido se pudo superar el impase y los equipos fueron instalados de forma exitosa. En este momento el sistema solar ya está generando y entregando excedentes a la red.

- Señalización por arco eléctrico para las subestaciones, transformadores y seccionadores

CRYSTAL cuenta con transformadores que soportan la operación de varias secciones en los que se dan diferentes procesos de producción, cada uno de estos procesos afecta de maneras diferentes al sistema eléctrico. Es por este motivo que la empresa contrató un estudio por arco eléctrico para todas las subestaciones, transformadores, seccionadores y gabinetes principales en baja tensión. Uno de los proyectos en los que se trabajó durante el tiempo de prácticas fue la

creación de una señalización para cada uno de estos lugares, para esto se recopiló la información entregada por el estudio y se identificó cuáles eran los datos que debían ir en esta señalización.

Se crearon dos tipos de señalización que cumple las recomendaciones del estudio. Una en la que se entregan las distancias de seguridad para intervención del elemento en cuestión y otra distancia mínima que no se puede reducir para evitar correr riesgo de afectación por la energía incidente [9] que se puede presentar a la hora de un arco eléctrico, que es la energía en forma de calor que puede liberar el arco eléctrico, en esta señalización también se presenta el equipo de protección requerido según la norma NFPA 70E [10] presentada en la figura 20.

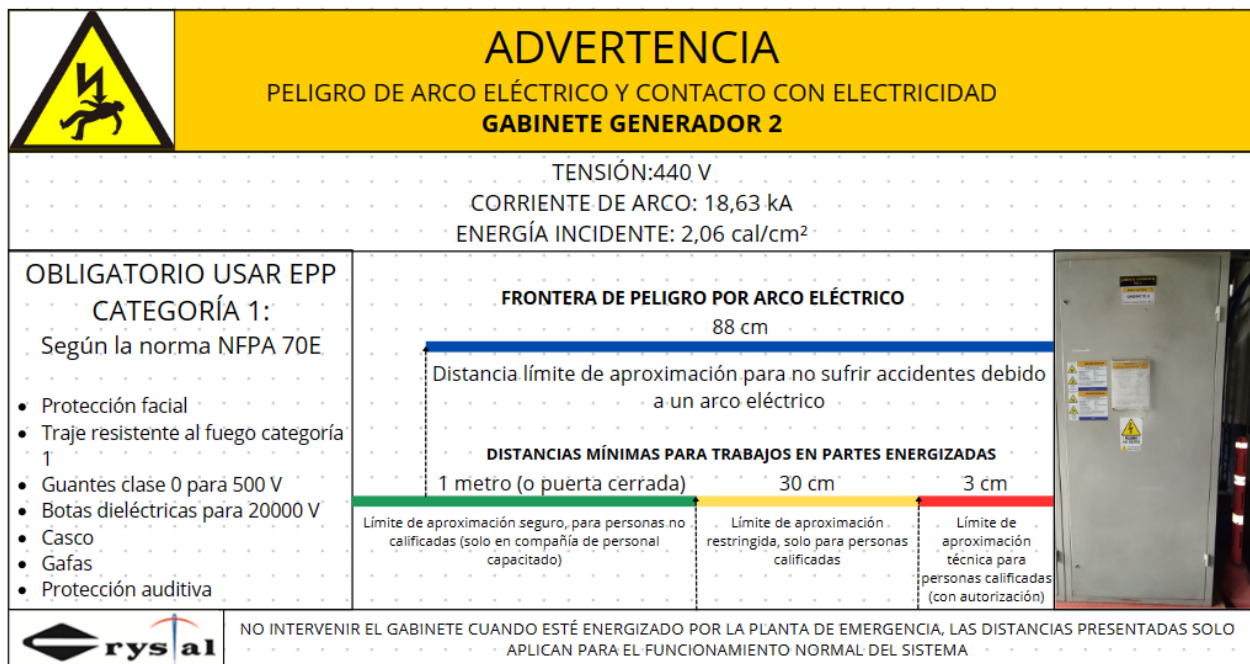


Fig. 20. Señalización por arco eléctrico

La segunda señalización generada presenta estas mismas distancias, con la diferencia que en esta el estudio recomienda no intervenir por ningún motivo el elemento en cuestión, debido a la alta energía incidente generada en un caso de arco eléctrico, esta se muestra en la figura 21.

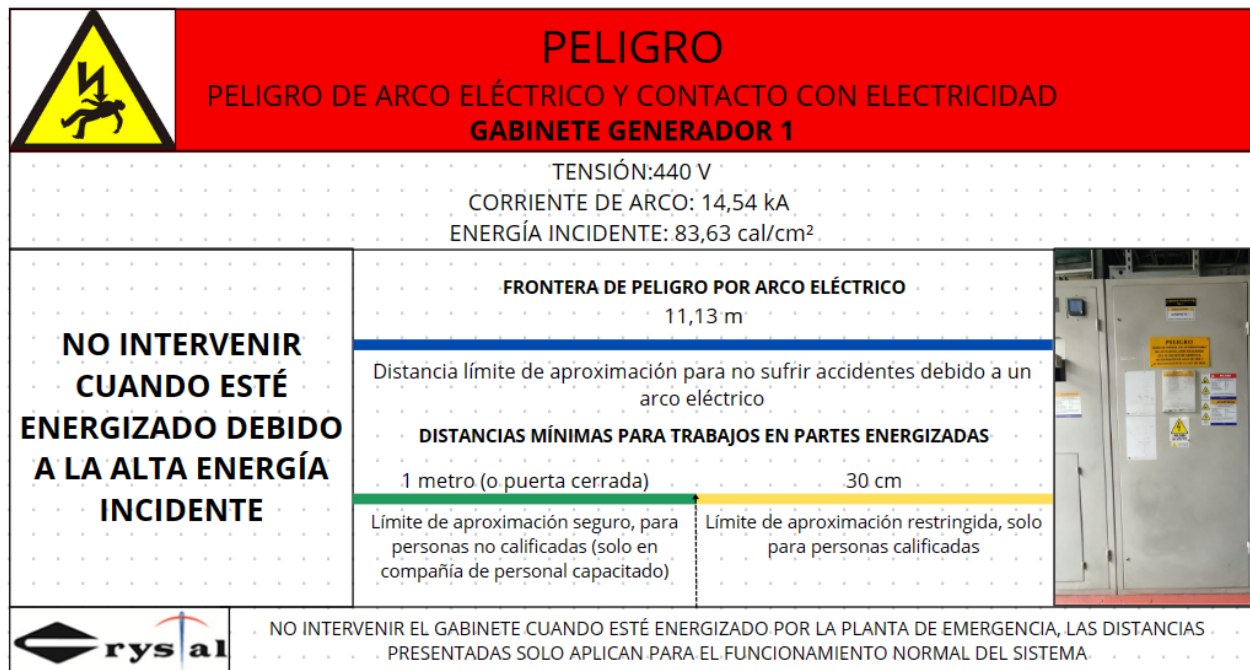


Fig. 21. Señalización por arco eléctrico

En el estudio también se hace claridad de las distancias que pueden ser más permisivas si solo se hace la visualización del gabinete o el elemento con una barrera de protección, como la puerta de un gabinete o el muro corta fuegos de un transformador; en muchas de las señalizaciones se presentan distancias demasiado grandes que por temas de espacio no se pueden asegurar. Cabe aclarar que las subestaciones y cuartos eléctricos cumplen con la normativa RETIE [4] y las distancias de trabajo sí se cumplen.

- Caracterización energética de la planta

Como apoyo a la empresa en cuanto a la búsqueda de mejoras en cuanto a la eficiencia energética, se realizó la caracterización de la planta en cuanto a su consumo de energía eléctrica. Para lograrlo se realizaron mediciones de consumo por máquina. A pesar de que la planta cuenta con un buen número de analizadores de redes como los mostrados en la figura 22 conectados en todas las subestaciones y gabinetes principales para tener las mediciones de consumo independientes por sección, se vio la necesidad de medir las máquinas de forma individual para obtener los consumos asociados a cada una de ellas, o por lo menos de las que representan un mayor consumo, y así poder asociar los costos de producción de una forma correcta y por qué no, analizar el estado de la máquina al poder comparar el consumo con sus similares o el desfase de corriente que presentaron algunas.



Fig. 22. Analizadores de redes en subestaciones y gabinetes

Para la medición en las máquinas se usó un analizador de res portátil que dispone la empresa y se muestra en la figura 23, esto para las máquinas más grandes y con acceso más complejo a los barrajes o borneras. Para el resto de las máquinas, la medición se realizó mediante una pinza amperimétrica tomando datos periódicos en las tres fases y por un tiempo prudente, de acuerdo con las características de corriente de la máquina a medir.



Fig. 23. Analizador de redes portátil

Después de tener el registro de todas las mediciones, se realizó el cálculo de la energía consumida por cada máquina en kWh y se creó una base de datos con todos los consumos por secciones.

En la figura 24 se presenta una de las plantillas creadas en Excel para asociar los consumos obtenidos con los costos asociados a los tiempos y características propias de cada proceso, en esta plantilla se entregan listas desplegables para elegir cierta máquina que se quiera analizar, a esto se

asocia un tipo de tela que se quiera tratar y el tiempo que demora tratarla. Estas variables cambian dependiendo de la sección.

								COSTO DEL kWh
								\$ 448,00
Tanda								
TEÑIDORA	CONSUMO	MATERIAL	TIEMPO (min)	COSTO DEL kWh	COSTOS	Kilos de la tanda	\$/Kg	
Teñidora 7	6,38	Poliester Medios	621,7	\$ 448,00	\$ 29.611,13	150	\$ 197,41	
Centrifugado								
Centrifuga	Consumo	Material	Tiempo (min)	Costo del kWh	Costos	Kilos de la tanda	\$/Kg	
3	2,62	Algodón	13,3	\$ 448,00	\$ 259,88	150	\$ 1,73	
Centrifugado (máquinas 4-5-6)								
Centrifuga	Consumo	Material	Tiempo (min)	Costo del kWh	Costos	Kilos de la tanda	\$/Kg	
5	5,18	Borra	30	\$ 448,00	\$ 1.160,16	150	\$ 7,73	

Fig. 24. Plantilla para asociar costos y consumos de la sección tintorería de hilos de CRYSTAL

Fue interesante este proyecto porque permitió sacar muchas conclusiones sobre cómo se está manejando el tema de consumo energético en la planta. La gran conclusión es que debe generarse un plan de concientización para todos los operarios, ya que, los consumos excesivos se están dando por operaciones inadecuadas.

- Mejoras en cuanto a la seguridad eléctrica

Mediante los recorridos hechos durante los seis meses de prácticas, se evidenciaron, reportaron y mejoraron aspectos en los que se debía trabajar en todo el sistema eléctrico. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 25, donde se evidencia la presencia de borra dentro de uno de los tableros de la sección de tejido, generando un peligro constante por arco eléctrico, además, se mejoraron conexiones hechas quizá por personal no capacitado, entre otras.



Fig. 25. Aspectos por mejorar en el sistema eléctrico

VI. ANÁLISIS

Después de culminar el ciclo de prácticas, quedan un sin número de aprendizajes que sin duda serán importantes en el desarrollo profesional.

En cuanto a los conocimientos técnicos, se reforzaron temas de generación, transporte y distribución, ya que, en la empresa se registró en el diagrama unifilar el transporte de energía de forma subterránea y aérea permitiendo identificar de forma física las diferencias y características que tiene cada una de estas formas de transportar la energía. El hecho de haber estudiado de una forma tan cercana los seccionadores, fusibles, postes, conductores, entre otros, permite aterrizar muchos conceptos vistos en la academia.

Se reforzaron aspectos de coordinación de protecciones, al ver que en cada subestación, por la carga que debe ser atendida, cambian las condiciones y por lo tanto son características diferentes que permiten apreciar, por ejemplo, cómo el tipo de máquinas como algunos de los compresores, por su pico de corriente en el arranque, ocasiona que se deban tener protecciones que soporten una corriente muy superior a la nominal de la máquina.

Durante el tiempo de prácticas se pudo evidenciar la gran importancia que tiene cumplir con las normativas nacionales o internacionales, más en una empresa del sector textil como lo es CRYSTAL, en donde se tienen procesos que pueden suponer peligros, por ejemplo, atmósferas explosivas en algunos gabinetes.

Una de las mayores ganancias de la práctica es el aprendizaje de manejo de situaciones adversas que se pueden presentar en la ingeniería eléctrica, por ejemplo, la transferencia de forma rápida entre el circuito del operador de red y las plantas de emergencia cuando se presentan fluctuaciones inesperadas y prolongadas, en donde el tiempo de respuesta puede evitar complicaciones económicas por un paro largo de producción o el paro inesperado y prolongado de máquinas, que no debe suceder.

VII. CONCLUSIONES

La realización del diagrama unifilar de la empresa permite tener una idea clara de cómo está distribuida la red eléctrica de la empresa, y puede permitir la operación correcta de las secciones o máquinas.

Es de suma importancia tener claro el consumo asociado a cada máquina, y no solo eléctrico, también los diferentes consumos asociados a un proceso como por ejemplo el consumo de vapor, para de esa manera asociar costos y poder sacar conclusiones reales que permitan obtener mejoras para los procesos y finalmente para la empresa.

El hecho de que las subestaciones, gabinetes, seccionadores y transformadores cumplan con la normativa, definitivamente puede salvar vidas, y más en empresas de tan grande envergadura como lo es CRYSTAL, en donde una mala señalización o un incumplimiento de distancias puede ocasionar graves accidentes.

La generación por medio de energías renovables supone una alternativa importante para la economía y la conservación y recuperación del medio ambiente.

El mantenimiento preventivo en un sistema eléctrico es de suma importancia para asegurar su buen funcionamiento, así como para velar por la seguridad de todas las personas y seres vivos que intervienen de cualquier manera.

REFERENCIAS

- [1] Autodesk. *AutoCAD*. (2024, versión 24.3).
- [2] Normas ISO, “ISO 50001 - Gestión de la energía: norma UNE ISO 50001:2011”. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.normas-iso.com/iso-50001/>
- [3] Enel Colombia la empresa de energía en Bogotá y Cundinamarca , “Aquí te contamos qué es la seguridad eléctrica”.. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.enel.com.co/es/personas/servicio-al-cliente/enel-distribucion-educa/seguridad-electrica/que-es-la-seguridad-electrica.html>
- [4] ILibrary.Co - plataforma para compartir documentos, “DEFINICIÓN DE CONFIABILIDAD - DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA”. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://ilibrary.co/article/definición-confiabilidad-sistemas-eléctricos-potencia>.
- [5] Ministerio de Minas y Energía, “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE”. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-técnico-de-instalaciones-eléctricas-rette/>
- [6] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC, “Ntc 2050 - [PDF Document]”. vdocuments.mx. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://vdocuments.mx/ntc-2050-55b0d7026a10e.html?page=1>
- [7] DIAL. *DIALux*. (2023, versión DIALux evo).
- [8] Ministerio de Minas y Energía, “Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP”. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-técnico-de-iluminación-y-alumbrado-público-retilap/>
- [9] Spiegato, “¿Qué es la energía incidente?”. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://spiegato.com/es/que-es-la-energia-incidente>.
- [10] National Fire Protection Association, “Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo”. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/7/0/e/70e>